



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

PCT / IB 03 / 04881

31.10.03

REG'D PCT/PTO

06 MAY 2005

REG'D 10 NOV 2003

WIPO PCT

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02079677.7

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 02079677.7
Demande no:

Anmelddetag:
Date of filing: 07.11.02
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

Koninklijke Philips Electronics N.V.
Groenewoudseweg 1
5621 BA Eindhoven
PAYS-BAS

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

H01L31/00

Am Anmelddetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR

Straling-emitterende halfgeleiderinrichting en werkwijze ter vervaardiging van een dergelijke inrichting

De uitvinding heeft betrekking op een straling-emitterende halfgeleiderinrichting met een silicium bevattend halfgeleiderlichaam en een substraat, waarbij het halfgeleiderlichaam een laterale halfgeleiderdiode omvat die zich op een isolerende laag bevindt die de diode scheidt van het substraat en welke laterale halfgeleiderdiode achtereenvolgens omvat een eerste halfgeleidergebied van een eerste geleidingstype en met een eerste doteringsconcentratie, een tweede halfgeleidergebied van het eerste of een tweede, aan het eerste tegengestelde, geleidingstype en met een tweede doteringsconcentratie die lager is dan de eerste doteringsconcentratie en een derde halfgeleidergebied van het tweede geleidingstype en met een derde doteringsconcentratie die hoger is dan de tweede doteringsconcentratie, waarbij het eerste en derde halfgeleidergebied elk voorzien zijn van een aansluitgebied, waarbij tijdens bedrijf straling gegenereerd wordt in het tweede halfgeleidergebied tengevolge van recombinatie van vanuit het eerste en derde halfgeleidergebied geïnjecteerde ladingsdragers in het tweede halfgeleidergebied. Een dergelijke inrichting waarvan pas sinds kort bekend is dat bij bedrijf van de diode in de voorwaartsrichting een bruikbare hoeveelheid straling geëmitteerd wordt, vormt een aantrekkelijk alternatief voor een straling-emitterende inrichting die een direct halfgeleidermateriaal zoals GaAs of ZnSe bevat.

De uitvinding heeft betrekking op een werkwijze ter vervaardiging van een dergelijke inrichting.

20

Het Amerikaanse octrooischrift US 5.438.210 openbaart een inrichting van de in de aanhef beschreven soort. De bekende straling-emitterende halfgeleiderinrichting heeft een silicium substraat dat bedekt is met een isolerende laag waarop zich een halfgeleiderdiode bevindt die gevormd is in een $2 \mu\text{m}$ dikke silicium film. De diode omvat achtereenvolgens een $p+$ type eerste halfgeleidergebied, een n of p type tweede halfgeleidergebied en een $n+$ type derde halfgeleidergebied. Tijdens bedrijf van de inrichting fungeert de diode als een silicium LED (= Light Emitting Diode). De inrichting bevat een verdere diode die op de LED is uitgericht en als detector van de uitgezonden straling

fungeert. De inrichting vormt aldus een zogenaamde "opto-coupler" die gebruikt kan worden om een galvanische scheiding te vormen tussen twee elektronische schakelingen.

Een bezwaar van de bekende inrichting is dat deze toch nog steeds een relatief geringe hoeveelheid straling uitzendt in vergelijking met de hierboven genoemde 5 halfgeleidermaterialen zoals GaAs of ZnSe of andere zogenaamde III-V of II-VI materialen die een materiaal bevatten met een directe bandovergang. In een materiaal als silicium is de bandovergang indirect en daarom is de stralingsopbrengst relatief gering.

10 Het is een doel om een inrichting van de in de aanhef genoemde soort te verschaffen waarvan de lichtopbrengst verhoogd is en die bovendien gemakkelijk te vervaardigen is.

Daartoe heeft volgens de uitvinding een straling-emitterende inrichting van de 15 in de aanhef genoemde soort het kenmerk dat het tweede halfgeleidergebied een centraal deel bevat dat omgeven is door een verder deel waarvan de bandafstand hoger is dan die van het centrale deel. De uitvinding berust allereerst op het inzicht dat in een halfgeleidermateriaal zoals silicium de emissie van straling beperkt wordt door een relatief grote tijdsduur τ voor een stralende recombinatie van een gat en een elektron plaats vindt. Genoemde levensduur τ ligt in de orde van 40 μ sec. Omdat de diffusie coëfficiënt D ($= \mu kT/q$, waarbij μ de 20 mobiliteit is, k de constante van Boltzmann, T de absolute temperatuur en q de grootte van de eenheidsslading) van de ladingsdragers in de orde van $10 \text{ cm}^2/\text{sec}$ bedraagt, is de diffusie weglengte L ($= \sqrt{D \cdot \tau}$) van de ladingsdragers ongeveer $200 \mu\text{m}$. Dit is veel groter dan de diffusielengte van een straling genererende recombinatie in een direct halfgeleidermateriaal zoals GaAs. Het bovenstaande brengt met zich mee dat een elektron-gat paar in silicium als 25 het ware binnen een relatief grote afstand (L) op zoek kan gaan naar een in het silicium aanwezig niet stralend recombinatie centrum. Derhalve vindt ook bij relatief lage concentratie van dergelijke centra van bijvoorbeeld 10^{13} cm^{-3} , toch veelal een niet stralende recombinatie plaats voordat een stralende recombinatie kan plaats vinden. De uitvinding berust verder op het inzicht dat de bewegingsvrijheid van de ladingsdragers beperkt kan 30 worden door een barrière in het halfgeleidermateriaal aan te brengen waardoor de ladingsdragers als het ware opgesloten worden. Een hogere bandafstand van het halfgeleidermateriaal vormt een effectieve barrière voor zowel elektronen als gaten. Dit kan bijvoorbeeld bereikt worden door de bandafstand van het centrale deel te verlagen door in dat deel germanium aan het silicium toe te voegen waardoor de bandafstand van het omgevende

deel ten opzichte van het centrale deel verhoogd is. Een vergelijkbaar resultaat kan bereikt worden door aan het silicium in het omgevende deel koolstof toe te voegen waardoor de bandafstand van silicium verhoogd wordt.

In een voorkeursuitvoering van een straling-emitterende halfgeleiderinrichting 5 volgens de uitvinding is de bandafstand van het verder deel verhoogd ten opzichte van het centrale deel doordat het verder deel een zo geringe dikte heeft dat kwantum effecten daarin optreden terwijl de dikte van het centrale deel zo groot is dat deze effecten nagenoeg niet optreden maar wel klein genoeg is voor een hoog rendement. Deze variant is bijzonder 10 aantrekkelijk omdat in dit geval de inrichting bijzonder gemakkelijk te vervaardigen is omdat deze althans nagenoeg geheel van silicium kan zijn en omdat een locale geringe dikte van een halfgeleiderlichaam op allerlei manieren gemakkelijk te vervaardigen is. Zo kan een dunne laag silicium – waarin kwantum effecten optreden – plaatselijk verdikt worden door middel 15 van locale epitaxie. Ook kan een dikkere laag silicium – waarin geen kwantum effecten optreden – lokaal dunner gemaakt worden door etsen.

In een bijzonder gunstige variant is de dikte van het halfgeleiderlichaam ter 15 plaatse van het te vormen verder deel verlaagd met behulp van een locale oxidatie van het halfgeleiderlichaam. Hieraan zijn verschillende voordelen verbonden. Zo ontstaat hierbij een goed gepassiveerd oppervlak van het silicium waardoor niet stralende recombinatie van 20 ladingsdragers aan dat oppervlak voorkomen of althans beperkt wordt. Daarnaast kan op deze manier bijzonder gemakkelijk en nauwkeurig een silicium gebied van een dikte waarbij kwantum effecten optreden verkregen worden. Indien een silicium laag zo ver geoxideerd 25 wordt dat het resulterende silicium gebied een dergelijke dikte bereikt is de (verdere) oxidatie snelheid relatief laag. Dit draagt bij aan de nauwkeurigheid en reproduceerbaarheid bij het verkrijgen van een dergelijke bijzonder dunne silicium laag.

In een verdere uitvoeringsvorm is de dikte van het halfgeleiderlichaam ter 25 plaatse van het te vormen centrale deel gereduceerd door middel van een verdere locale oxidatie. Dankzij deze variant kan de uitgangsdikte van het silicium halfgeleiderlichaam waarin de diode gevormd wordt relatief dik zijn, bijvoorbeeld 200 nm. Een voor het centraal deel gewenste dikte bedraagt bijvoorbeeld tenminste twee maal de dikte van het verder deel 30 dat bij voorkeur niet dikker is dan 10 nm. De dikte van het halfgeleiderlichaam maakt het mogelijk om een gangbaar SOI (= Silicon On Insulator) materiaal te gebruiken. Ook de vorming van elektrische aansluiting en de vorming van verdere elektronische en/of halfgeleiderelementen in het halfgeleiderlichaam is beter mogelijk. Echter er kan ook gebruikt gemaakt worden van een veel dunner halfgeleiderlichaam met een dikte die gelijk is

aan de dikte van het verder deel. Het centrale deel kan dan gevormd zijn door middel van een selectieve (locale) epitaxie.

5 In een voordeelijke uitvoeringsvorm is het centrale deel, door middel van een ionenimplantatie van geschikte atomen, voorzien van deelgebieden waarin de bandafstand verhoogd is ten opzichte van de rest van het centrale deel. Deze gebieden kunnen bijvoorbeeld gevormd zijn door middel van een implantatie van silicium, germanium of zuurstof atomen.

10 In een gunstige verdere variant is het substraat van silicium. Hierdoor is de inrichting bijzonder compatibel met gangbare IC (= Integrated Circuit) technieken waarbij SOI wordt toegepast. Zo kan een silicium substraat zijn toegepast waarin door middel van een zuurstof ionen implantatie een begraven isolerende laag van siliciumdioxide gevormd is die als isolerende laag fungeert en waarbij het halfgeleiderlichaam gevormd is door een boven de begraven isolerende laag liggend deel van het substraat. Echter met voordeel kan het halfgeleiderlichaam ook gevormd zijn door middel van de zogenaamde "smart cut" 15 techniek.

20 Een werkwijze ter vervaardiging van een straling-emitterende halfgeleiderinrichting, waarbij op een substraat een isolerende laag aanwezig is met een silicium bevattend halfgeleiderlichaam en waarbij in het halfgeleiderlichaam een laterale halfgeleiderdiode gevormd wordt die achtereenvolgens omvat een eerste halfgeleidergebied van een eerste geleidingstype en met een eerste dotoringsconcentratie, een tweede halfgeleidergebied van het eerste of een tweede, aan het eerste tegengestelde, geleidingstype en met een tweede dotoringsconcentratie die lager is dan de eerste dotoringsconcentratie en een derde halfgeleidergebied van het tweede geleidingstype en met een derde dotoringsconcentratie die hoger is dan de tweede dotoringsconcentratie, waarbij het eerste en derde halfgeleidergebied elk voorzien worden van een aansluitgebied, waarbij tijdens bedrijf straling gegenereerd wordt in het tweede halfgeleidergebied tengevolge van recombinatie van vanuit het eerste en derde halfgeleidergebied geïnjecteerde ladingsdragers in het tweede halfgeleidergebied, met het kenmerk, dat het tweede halfgeleidergebied voorzien wordt van een centraal deel dat omgeven wordt door een verder deel waarvan de bandafstand verhoogd 25 wordt ten opzichte van die van het centrale deel. Met een dergelijke werkwijze wordt een inrichting volgens de uitvinding verkregen.

30

Bij voorkeur wordt de bandafstand van het verder deel verhoogd door dit deel een zo geringe dikte te geven dat in de dikterichting kwantum effecten daarin optreden terwijl de dikte van het centrale deel zo groot gekozen wordt dat deze effecten nagenoeg niet

optreden. Een dergelijke werkwijze is relatief eenvoudig en derhalve aantrekkelijk. In een gunstige variant wordt de dikte van het halfgeleiderlichaam ter plaatse van het te vormen verder deel verlaagd met behulp van een lokale oxidatie van het halfgeleiderlichaam. De werkwijze is bijzonder compatibel met gangbare IC technologie. Bij voorkeur wordt de dikte 5 van het halfgeleiderlichaam ter plaatse van het te vormen centrale deel gereduceerd door middel van een verdere lokale oxidatie. Hierdoor kan uitgegaan worden van een relatief dik halfgeleiderlichaam voor de vorming van silicium LED.

In een verdere uitvoering van een werkwijze volgens de uitvinding wordt voor 10 het materiaal van het substraat silicium gekozen. Een bijzonder aantrekkelijke variant ontstaat wanneer het verder deel en een eerste deel van het centrale deel in de vorm van een ononderbroken laag wordt gevormd en een tweede, op het eerste liggende, deel van het centrale deel gevormd wordt met behulp van selectieve epitaxie.

In een andere uitvoeringsvorm worden in het centrale deel door middel van 15 een ionenimplantatie geschikte atomen gebracht worden waardoor de bandafstand van het centrale deel lokaal verhoogd wordt ten opzichte van de rest van het centrale deel. De stralingsopbrengst kan hierdoor verder verbeterd worden. Voor de geimplanteerde atomen worden bij voorkeur silicium of zuurstof atomen gekozen.

20 De uitvinding zal thans nader worden toegelicht aan de van een uitvoeringsvoorbeeld en de tekening, waarin

figuur 1 schematisch en in een dwarsdoorsnede loodrecht op de dikterichting een straling-emitterende halfgeleiderinrichting volgens de uitvinding toont,

25 figuur 2 schematisch het verloop van de bandafstand van het halfgeleiderlichaam van de inrichting van figuur 1 toont, en

figuren 3 t/m 12 schematisch en in een dwarsdoorsnede loodrecht op de dikterichting de inrichting van figuur 1 tonen in opeenvolgende stadia van de vervaardiging met behulp van een werkwijze volgens de uitvinding.

30 De figuren zijn niet op schaal getekend en sommige afmetingen, zoals met name de afmetingen in de dikterichting zijn ter wille van de duidelijkheid overdreven weergegeven. Overeenkomstige gebieden of onderdelen zijn in de verschillende figuren zoveel mogelijk van hetzelfde verwijzingscijfer en van dezelfde aarcering voorzien.

Figuur 1 toont schematisch en in een dwarsdoorsnede loodrecht op de dikterichting een straling-emitterende halfgeleiderinrichting volgens de uitvinding. De inrichting 10 heeft een silicium halfgeleiderlichaam 1 en een substraat 2, dat in dit voorbeeld eveneens van silicium is. In het silicium halfgeleiderlichaam 1 dat van het substraat 2 gescheiden is door middel van een isolerende laag 7, hier van siliciumdioxide, bevindt zich een laterale halfgeleiderdiode met een eerste halfgeleidergebied 3, hier van het n-type en met een doteringsconcentratie van ongeveer 10^{20} at/cm³, een tweede halfgeleidergebied 4, hier van het n-geleidingstype en met een doteringsconcentratie van 10^{17} at/cm³, en een derde halfgeleidergebied 5, hier van het p-geleidingstype en met een doteringsconcentratie van 10^{20} at/cm³. Het eerste en derde halfgeleidergebied 3,5 zijn bedekt met een verdere isolerende laag 31 van siliciumdioxide waarin zich een opening bevindt waar de genoemde gebieden 3,5 elk voorzien zijn van respectievelijke aansluitgeleiders 6,8 die hier van aluminium of van koper zijn. Aan weerszijde van de diode bevinden zich isolerende gebieden 22 van siliciumdioxide. Bij een bedrijf in de voorwaartsrichting van de diode fungert deze als LED doordat een deel 15 van de vanuit het eerste halfgeleidergebied 3 in het tweede halfgeleidergebied 4 geïnjecteerde elektronen recombineren met een deel van de vanuit het derde halfgeleidergebied 5 in het tweede halfgeleidergebied 4 geïnjecteerde gaten onder uitzending van straling S met een golflengte van ongeveer 1100 (+/- 100) nm, welke golflengte correspondeert met de bandafstand van silicium.

20 Volgens de uitvinding bevat het tweede halfgeleidergebied 4 een centraal deel 4A en een verder deel 4B dat het centrale deel 4A omgeeft en dat ten opzichte van het centrale deel 4A een hogere bandafstand bezit. Hierdoor wordt de vrije weglenge van ladingsdragers in silicium zodanig beperkt dat deze – ondanks de lange tijd die verstrijkt voordat deze stralend recombineren – niet of althans veel minder centra kunnen bereiken 25 waar een niet stralende recombinatie plaats kan vinden. Hierdoor is de stralingsopbrengst van een inrichting 10 volgens de uitvinding verhoogd ten opzichte van de bekende inrichting. In dit voorbeeld is de bandafstand van verder deel 4B verhoogd ten opzichte van het centrale deel 4A door het halfgeleiderlichaam 1 ter plaatse van het verder deel 4B een zodanig 30 geringe dikte te geven dat daarin kwantum-effecten optreden. Dit gebeurt bij een dikte kleiner dan ongeveer 100 nm. In dit voorbeeld bedraagt de dikte van het verder deel 4B ongeveer 5 nm, terwijl de dikte van het centrale deel 4A ongeveer 100 nm bedraagt. Dit betekent dat de bandafstand van het verder deel 4B ongeveer 30 meV groter is dan de bandafstand van het centrale deel 4A.

5 Figuur 2 toont schematisch het verloop van de bandafstand in het halfgeleiderlichaam 1 van de inrichting 10 van dit voorbeeld. De figuur laat zien dat aan weerszijde van het centrale deel 4A in het omgevende deel 4B een barrière gevormd is voor de ladingsdragers in respectievelijk de geleidingsband 101 en de valentieband 102. Binnen het centrale deel 4A van figuur 1 toont zullen ladingsdragers 111,112 eerder kunnen recombineren onder uitzending van straling S.

10 De afmetingen van de verschillende gebieden zijn in dit voorbeeld als volgt. Het centrale deel 4A heeft laterale afmetingen tussen 200 nm en 1 μ m en bedragen in dit voorbeeld 500 nm. De breedte van het locale oxidatie gebied 20, waarmee in dit voorbeeld ter plaatse van het verder deel 4B de uitgangsdikte van het halfgeleiderlichaam 1 van ongeveer 200 nm tot ongeveer 10 nm is teruggebracht, bedraagt hier ongeveer 0.1 μ m. De afmetingen van de verdere locale oxidatie 21, waarmee in dit voorbeeld ter plaatse van het centrale deel 4A de uitgangsdikte van het halfgeleiderlichaam 1 van silicium van 200 nm naar 100 nm en ter plaatse van het verder deel 4B van ongeveer 10 nm naar ongeveer 5 nm is teruggebracht, komen ongeveer overeen met de eerder gegeven afmetingen van het centrale deel 4A van het tweede halfgeleidergebied 4. De laterale afmetingen van het eerste en derde halfgeleidergebied 3,5 bedragen ongeveer 1 μ m, terwijl de dikte daar overeenkomt met de uitgangsdikte van het halfgeleiderlichaam 1 van 200 nm.

15 20 In dit voorbeeld is het centrale deel 4A in laterale richting symmetrisch. Om laser werking te verkrijgen kan het centrale deel 4A langwerpig gemaakt worden, waarbij de afmeting in de lengte richting bijvoorbeeld vele malen groter is dan de afmeting in de breedte richting. In dat tussen geval dienen de uiteinden van het centrale deel 4A van spiegelvlakken voorzien te zijn. Deze kunnen bijvoorbeeld gevormd worden door middel van etsen. In verband met de relatief lage oscillator sterkte in Si ten opzichte van bijvoorbeeld GaAs en 25 rekening houdend met de verschillen in effectieve massa van de ladingsdragers in de genoemde materialen, zou een laser in silicium dan een lengte moeten hebben die in de orde van 1 cm ligt om een met GaAs vergelijkbare versterking te realiseren. De praktische uitvoerbaarheid wordt sterk vergroot indien de lengte veel kleiner dan 1 cm zou kunnen zijn. Dat kan bereikt worden door de genoemde spiegelvlakken zeer sterk reflecterend te maken, 30 waarbij de reflectie aan een spiegelvlak bijvoorbeeld 0,99 bedraagt en die aan het andere spiegelvlak 0,97 bedraagt. Dergelijke hoge reflecties kunnen gerealiseerd worden door de spiegelvlakken te bedekken met een geschikte stapeling van dielectrische lagen en/of halfgeleiderlagen.

In dit voorbeeld is het centrale deel 4A voorzien van een ionenimplantatie van zuurstof atomen met een zodanig lage concentratie dat binnen het centrale deel 4A van het tweede halfgeleidergebied 4 als het ware lokale gebiedjes met een hogere bandafstand gevormd zijn. Dit draagt verder bij aan een verhoging van de stralingsopbrengst. De lokale 5 oxidatie 20 en de verdere lokale oxidatie 21 van silicium tot siliciumdioxide zorgen evenals de isolerende laag 21 van siliciumdioxide voor een barrière voor de ladingsdragers in de dikte richting. Ook bezitten deze gebieden 7,20,21 over een passief grensvlak met het silicium halfgeleiderlichaam 1. Hierdoor zullen relatief weinig ladingsdragers aan dat grensvlak niet stralend recombineren. Dit komt de stralingsopbrengst ten goede.

10 De vervaardiging van de inrichting 10 van dit voorbeeld zal thans toegelicht worden.

15 Figuur 3 t/m 12 tonen schematisch en in een dwarsdoorsnede loodrecht op de dikterichting de inrichting 10 van dit voorbeeld in opeenvolgende stadia van de vervaardiging met behulp van een werkwijze volgens de uitvinding. Uitgegaan wordt (zie figuur 3) van een halfgeleidersubstraat 2 van n-type silicium waarop zich een elektrisch isolerende laag 7 van siliciumdioxide bevindt. Daarop bevindt zich dan het halfgeleiderlichaam 1 van silicium. In dit voorbeeld is deze structuur gevormd met behulp van de zogenaamde "smart cut" techniek. Hierna wordt een verdere isolerende laag 30 aangebracht die achtereenvolgens een dunne laag van een thermisch oxide bevat en een daarop met behulp van CVD gedeponeerde laag 20 van siliciumnitride. Deze wordt door middel van fotolithografie en etsen in patroon gebracht zoals in figuur 3 aangegeven.

20 Dan wordt (zie figuur 4) plaatselijk – aan weerszijde van de te vormen diode – het halfgeleiderlichaam 1 boven de isolerende laag 7 verwijderd met behulp van plasma 25 etsen. Hierna wordt over het gehele oppervlak van de inrichting 10 met behulp van CVD een isolerende laag 40 van siliciumdioxide aangebracht. Deze wordt vervolgens (zie figuur 5) boven de isolerende laag 30 verwijderd door middel van CMP (= Chemical Mechanical Polishing) waarbij de inrichting 10 weer planair wordt en de isolerende gebieden 22 gevormd worden. Tevens wordt nu het oppervlak van het halfgeleiderlichaam 1 bedekt met een dunne, bij voorbeeld 10 nm dikke, laag 31 van siliciumdioxide door middel van een thermische 30 oxidatie.

Vervolgens wordt (zie figuur 6) op het oppervlak van de inrichting 10 een 150 nm dikke laag 60 van siliciumnitride aangebracht met behulp van CVD. Daarin wordt met behulp van fotolithografie en etsen een patroon gevormd, waarna (zie figuur 7) de lokale oxidatie 20 wordt aangebracht waarbij de dikte van de isolerende laag 31 toeneemt ten koste

van de dikte van het halfgeleiderlichaam 1 en waarbij lokaal de dikte daarvan wordt teruggebracht van 200 nm tot ongeveer 10 nm. Na verwijdering van de nitride laag 60 resulteert de inrichting van figuur 8. Hierna worden met behulp van een fotolak masker 80 in het – te vormen – centrale deel 4A van het tweede halfgeleidergebied een zuurstof implantaat 5 aangebracht.

Na verwijdering van de masker laag 80 wordt (zie figuur 9) een verdere siliciumnitride laag 90 op de inrichting aangebracht en in patroon gebracht. Door middel van een verdere locale oxidatie 21 wordt dan ter plaatse van het te vormen centrale deel 4A van het tweede halfgeleidergebied 4 de dikte van het halfgeleiderlichaam 1 gereduceerd van 200 10 nm tot ongeveer 100 nm. Daarbij wordt tevens de dikte van het halfgeleiderlichaam 1 ter plaatse van het te vormen verder deel teruggebracht tot de in dit voorbeeld gewenste 5 nm. Tijdens deze oxidatie 21 vindt tevens tempering plaats van het hiervoor genoemde zuurstof implantaat in het centrale deel 4A. Na verwijdering van de nitride laag 90 wordt het in figuur 10 weergegeven stadium bereikt.

15 Dan wordt (zie figuur 11) een fotolak masker laag 81 op de inrichting 10 en in patroon gebracht. Door middel van een implantatie I1 van arseen ionen wordt in het halfgeleiderlichaam 1 het eerste halfgeleidergebied 3 gevormd. Na verwijdering van de maskerlaag 81 wordt (zie figuur 12) met behulp van een masker laag 82 op soortgelijke wijze het derde halfgeleidergebied 5 gevormd met behulp van een ionenimplantatie I2 van boor 20 ionen. Na verwijdering van de maskerlaag 82 worden beide implantaties I1,I2 getemperd in een warmte behandeling waarbij de atomen van de doteringselementen arseen en boor elektrisch geactiveerd worden.

25 Dan worden (zie figuur 1) met behulp van fotolithografie en etsen ter plaatse van het eerste en derde halfgeleidergebied 3,5 openingen in de isolerende laag 31 gevormd. Een vervolgens opgedampte aluminium laag wordt dan met behulp van fotolithografie en 30 etsen in patroon gebracht waarbij de aansluitgebieden 6,8 gevormd worden. De inrichting 10 is dan gereed voor gebruik. Indien de inrichting 10 geïntegreerd wordt met een silicium IC dat een schakeling van transistoren bevat kunnen met voordeel voordat de aansluitgebieden gevormd worden desgewenst nog een of meer verdere isolerende lagen aangebracht worden waarin zogenaamde via's gevuld met metaal pluggen en geleidersporen in gevormd worden.

De uitvinding is niet beperkt tot het beschreven uitvoeringsvoorbeeld daar voor de vakman binnen het kader van de uitvinding vele variaties en modificaties mogelijk zijn. Zo kunnen inrichtingen vervaardigd zijn met een andere geometrie en/of andere afmetingen. In plaats van een substraat van Si kan ook een isolator als substraat toegepast

zijn. De verdere locale oxidatie kan met voordeel ook vooraf aan de lokale oxidatie uitgevoerd worden. Dit omdat de dikte van het centrale deel minder kritisch is dan die van het verder deel.

Verder wordt opgemerkt dat de gewenste relatieve verhoging van de 5 bandafstand van het verder deel ook mede gerealiseerd kan worden door het introduceren van spanning in het verder deel. Een tensie spanning leidt hierbij tot een gewenste verhoging van de bandafstand.

Tot slot wordt opgemerkt dat de inrichting verdere actieve en passieve 10 halfgeleiderelementen of elektronische componenten kan bevatten zoals dioden en/of transistoren en weerstanden en/of capaciteiten, al dan niet in de vorm van een geïntegreerde schakeling. Deze kunnen zich dan bevinden op of in delen van het halfgeleiderlichaam aan de buitenzijde van de isolerende gebieden die de diode omgeven. Een bijzonder voordeel is dat 15 in dat geval daarbij een detector opgenomen kan zijn voor de door de diode uitgezonden straling. Aldus kan binnen een IC een optische communicatie plaatsvinden, bijvoorbeeld middels een op het oppervlak van de inrichting aangebrachte stralingsgeleider.

CONCLUSIES:

1. Straling-emitterende halfgeleiderinrichting (10) met een halfgeleiderlichaam (1) en een substraat (2), waarbij het silicium bevattende halfgeleiderlichaam (1) een laterale halfgeleiderdiode omvat die zich op een isolerende laag (7) bevindt die de diode scheidt van het substraat (2), welke laterale halfgeleiderdiode achtereenvolgens omvat een eerste halfgeleidergebied (3) van een eerste geleidingstype en met een eerste doteringsconcentratie, een tweede halfgeleidergebied (4) van het eerste of een tweede, aan het eerste tegengestelde, geleidingstype en met een tweede doteringsconcentratie die lager is dan de eerste doteringsconcentratie en een derde halfgeleidergebied (5) van het tweede geleidingstype en met een derde doteringsconcentratie die hoger is dan de tweede doteringsconcentratie, waarbij het eerste en derde halfgeleidergebied (3,5) elk voorzien zijn van een aansluitgebied (6,8), waarbij tijdens bedrijf straling (S) gegenereerd wordt in het tweede halfgeleidergebied (4) tengevolge van recombinatie vanuit het eerste en derde halfgeleidergebied geïnjecteerde ladingsdragers in het tweede halfgeleidergebied (4), met het kenmerk, dat het tweede halfgeleidergebied (4) een centraal deel (4A) bevat dat omgeven is door een verder deel (4B) waarvan de bandafstand hoger is dan die van het centrale deel (4A).
2. Straling-emitterende halfgeleiderinrichting (10) volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de bandafstand van het silicium bevattende halfgeleidermateriaal in het verder deel (4B) verhoogd is doordat dit deel een zo geringe dikte heeft dat kwantum effecten daarin optreden terwijl de dikte van het centrale deel (4A) zo groot is dat deze effecten nagenoeg niet optreden.
3. Straling-emitterende halfgeleiderinrichting (10) volgens conclusie 2, met het kenmerk, dat de dikte van het halfgeleiderlichaam (1) ter plaatse van het te vormen verder deel (4B) verlaagd is met behulp van een locale oxidatie (20) van het halfgeleiderlichaam.
4. Straling-emitterende halfgeleiderinrichting (10) volgens conclusie 3, met het kenmerk, dat de dikte van het halfgeleiderlichaam (1) ter plaatse van het te vormen centrale deel (4A) gereduceerd is door middel van een verdere lokale oxidatie (21).

5. Straling-emitterende halfgeleiderinrichting (10) volgens conclusie 2, 3 of 4, met het kenmerk, dat de dikte van het verder deel (4B) ten hoogste 10 nm bedraagt en de dikte van het centrale deel (4A) tenminste twee maal zo groot is als de dikte van het verder deel (4B).

6. Straling-emitterende halfgeleiderinrichting (10) volgens een der voorafgaande conclusies, met het kenmerk, dat het centrale deel (4A) voorzien is van deelgebieden waarin de bandafstand verhoogd is ten opzichte van de rest van het centrale deel door middel van een ionenimplantatie van geschikte atomen.

7. Straling-emitterende halfgeleiderinrichting volgens een der voorafgaande conclusies dat het substraat (2) van silicium is.

15 8. Werkwijze ter vervaardiging van een straling-emitterende halfgeleiderinrichting (10), waarbij op een substraat (2) een isolerende laag (7) aanwezig is met een silicium bevattend halfgeleiderlichaam (1) en waarbij in het halfgeleiderlichaam (1) een laterale halfgeleiderdiode gevormd wordt die achtereenvolgens omvat een eerste halfgeleidergebied (3) van een eerste geleidingstype en met een eerste doteringsconcentratie, een tweede halfgeleidergebied (4) van het eerste of een tweede, aan het eerste tegengestelde, geleidingstype en met een tweede doteringsconcentratie die lager is dan de eerste doteringsconcentratie en een derde halfgeleidergebied (5) van het tweede geleidingstype en met een derde doteringsconcentratie die hoger is dan de tweede doteringsconcentratie, waarbij het eerste en derde halfgeleidergebied (3,5) elk voorzien worden van een aansluitgebied (6,8), waarbij tijdens bedrijf straling gegenereerd wordt in het tweede halfgeleidergebied (4) tengevolge van recombinatie van vanuit het eerste en derde halfgeleidergebied geïnjecteerde ladingsdragers in het tweede halfgeleidergebied (4), met het kenmerk, dat het tweede halfgeleidergebied (4) voorzien wordt van een centraal deel (4A) dat omgeven wordt door een verder deel (4B) waarvan de bandafstand verhoogd wordt ten opzichte van die van het centrale deel (4A).

30 9. Werkwijze volgens conclusie 8, met het kenmerk, dat de bandafstand van het verder deel (4B) verhoogd wordt door dit deel (4B) een zo geringe dikte te geven dat in de

dikterichting kwantum effecten daarin optreden terwijl de dikte van het centrale deel (4A) zo groot gekozen wordt dat deze effecten nagenoeg niet optreden.

10. Werkwijze volgens conclusie 9, met het kenmerk, dat de dikte van het halfgeleiderlichaam (1) ter plaatse van het te vormen verder deel (4B) verlaagd wordt met behulp van een locale oxidatie (20) van het halfgeleiderlichaam (1).
11. Werkwijze volgens conclusie 10, met het kenmerk, dat de dikte van het halfgeleiderlichaam (1) ter plaatse van het te vormen centrale deel (4A) gereduceerd wordt door middel van een verdere locale oxidatie (21).
12. Werkwijze volgens conclusie 9, met het kenmerk, dat het verder deel (4B) en een eerste deel van het centrale deel (4A) als een ononderbroken laag gevormd worden terwijl een tweede, op het eerste liggende, deel van het centrale deel (4A) gevormd wordt met behulp van selectieve epitaxie.
13. Werkwijze volgens conclusie 8, 9, 10, 11, of 12, met het kenmerk, dat voor het materiaal van het substraat (2) silicium gekozen wordt.
- 20 14. Werkwijze volgens conclusie 8, 9, 10, 11 , 12 of 13, met het kenmerk, dat in het centrale deel (4A) door middel van een ionenimplantatie geschikte atomen gebracht worden waardoor de bandafstand van het centrale deel lokaal verhoogd wordt ten opzichte van de rest van het centrale deel (4A).
- 25 15. Werkwijze volgens conclusie 14, met het kenmerk, dat voor de in het centrale deel (4A) geimplanteerde atomen germanium, silicium of zuurstof atomen gekozen worden.

ABSTRACT:

Radiation emitting semiconductor device and method of manufacturing such a device.

The invention relates to a radiation-emitting semiconductor device (10) comprising a silicon containing semiconductor body (1) and a substrate (2), in which the semiconductor body (1) comprises a lateral semiconductor diode positioned on an insulating layer (7) which separates the diode from the substrate (2). The lateral semiconductor diode comprises a first semiconductor region (3) of a first conductivity type and with a first dopant concentration, a second semiconductor region (4) of the first or of a second, opposite to the first, conductivity type and with a second doping concentration which is lower than the first dopant concentration and a third semiconductor region (5) of the second conductivity type and with a third dopant concentration higher than the second dopant concentration, in which the first and third regions (3,5) each are provided with a connection region (6,8), and in which during operation radiation (S) is generated in the second region (4) due to recombination of charge carriers injected therein from the first and third regions (3,5).

According to the invention the second semiconductor region (4) comprises a central part (4A) which is surrounded by a further part (4B) of which the bandgap is higher than the bandgap of the central part (4A). In this way the radiation yield is increased in an indirect semiconductor material like silicon in the central part (4A) as translation of the relatively long-living charge carriers towards a non-radiative recombination center is limited because of the barriers in the valence and conduction band in the further part (4B). Preferably, the bandgap in the further part (4B) is made higher in that the thickness of said part (4B) is so small that quantum size effects therein occur, while the central part (4A) has a thickness which is so large that such effects are not or hardly present.

25 See figure 1

1/3

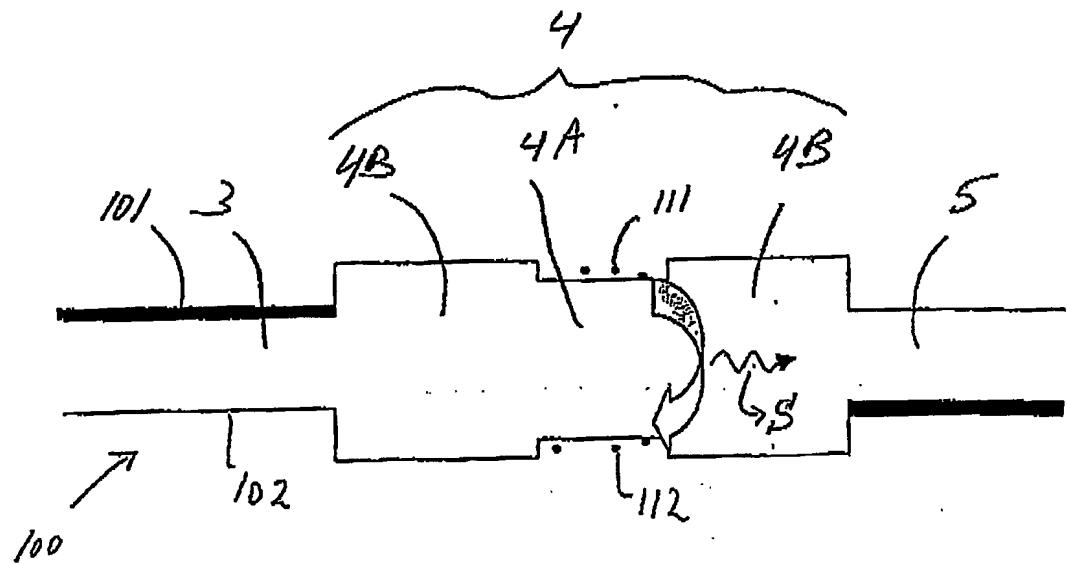


fig. 2

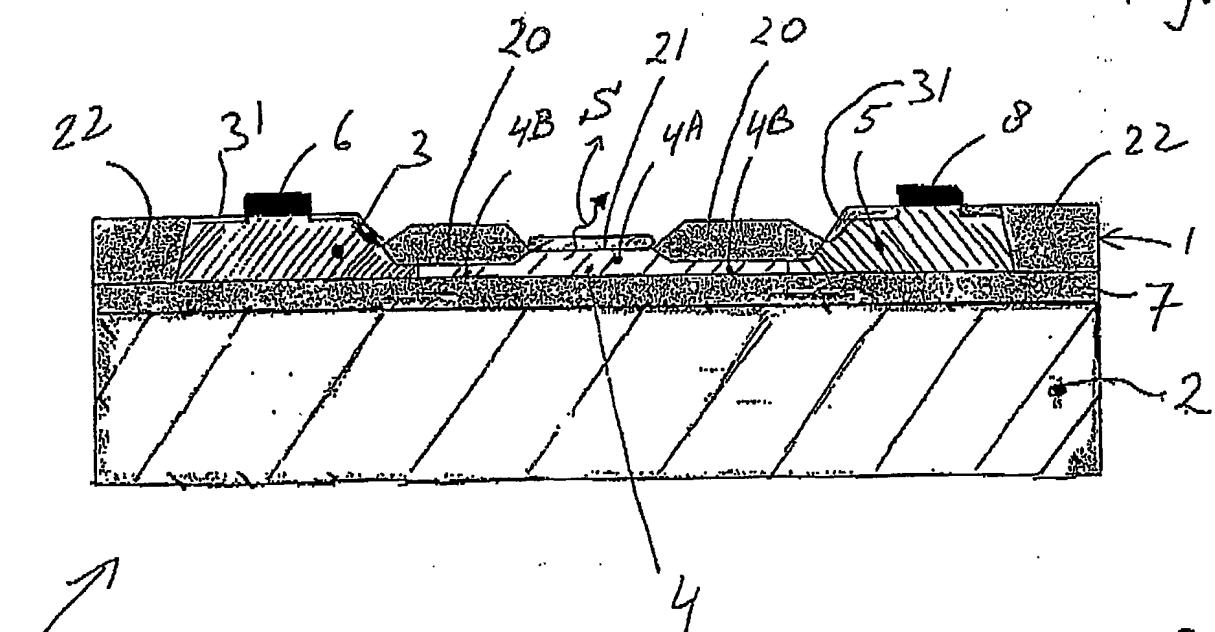


fig. 1

2/3

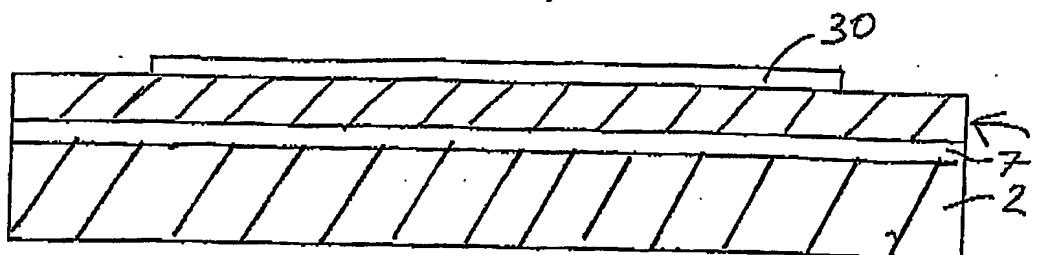


fig. 3

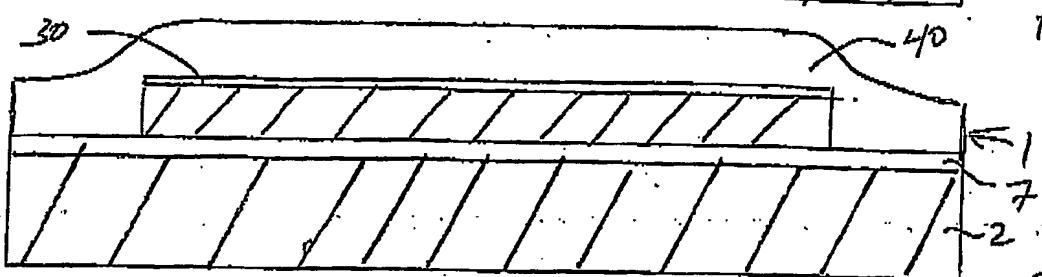


fig. 4

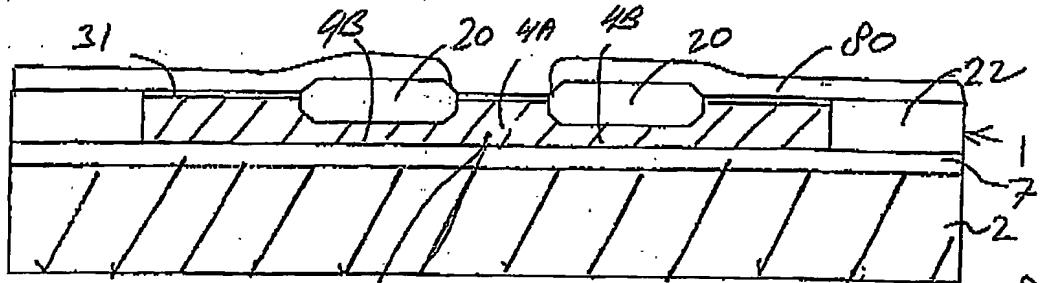


fig. 8

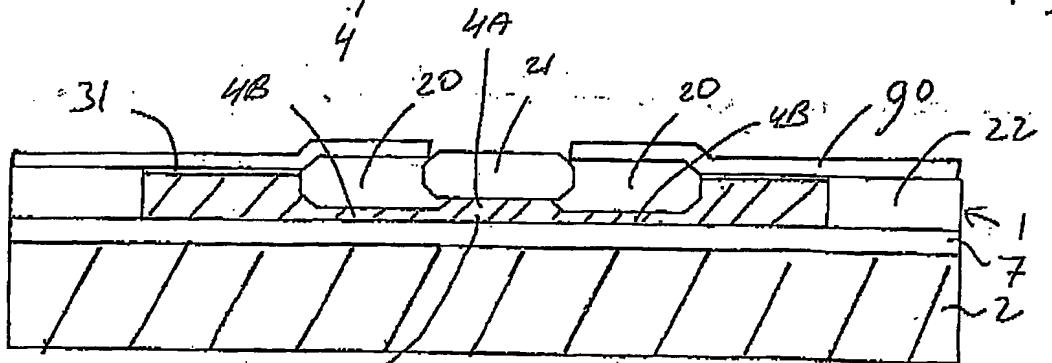


fig. 9

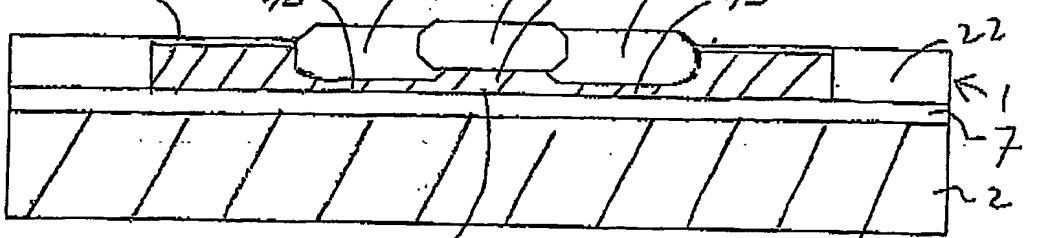


fig. 10

3/3

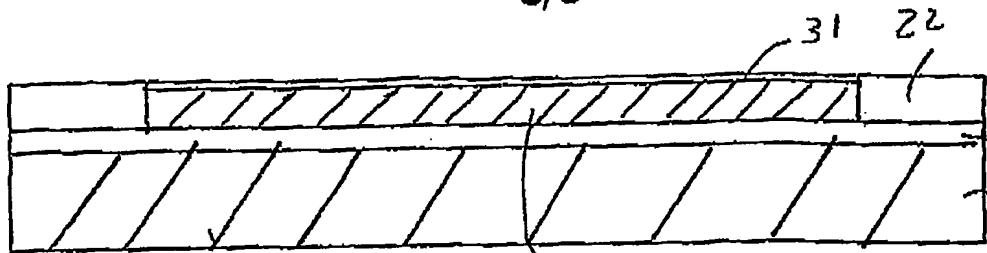


fig.5

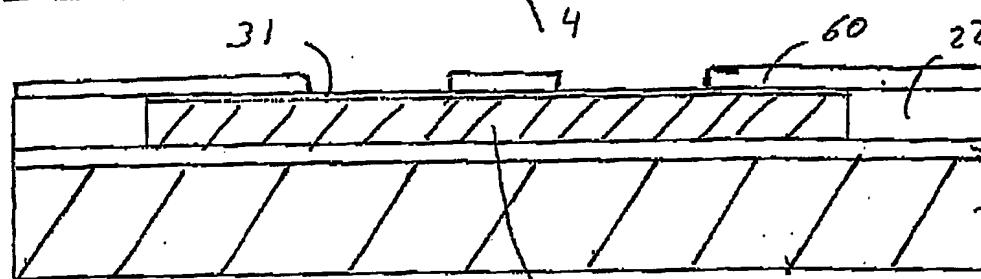


fig.6

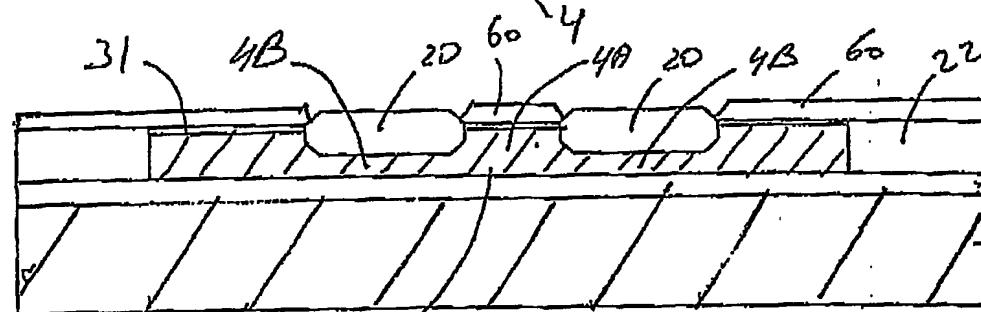


fig.7

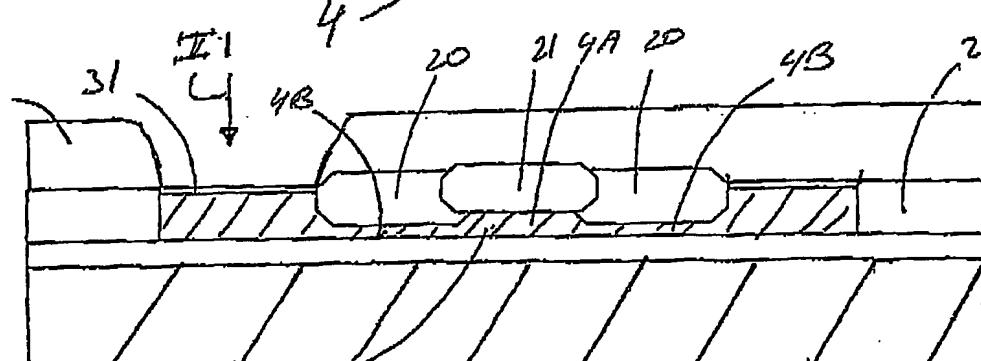


fig.11

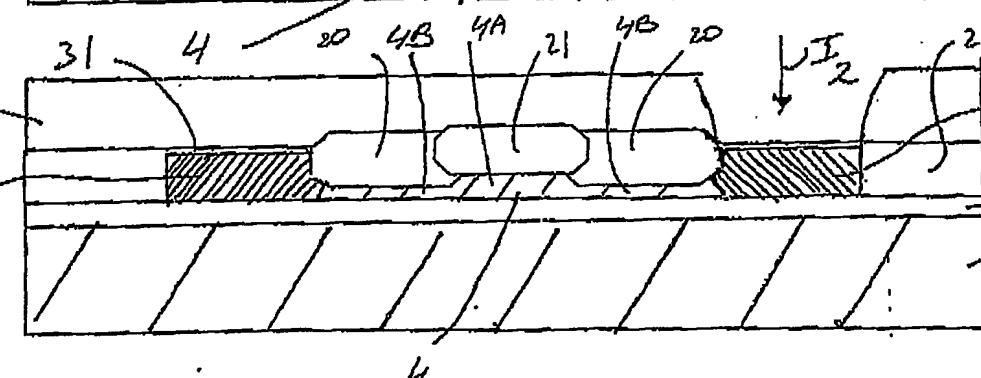


fig.12